

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-162312

(43) 公開日 平成8年(1996)6月21日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 F 1/053				
C 2 2 C 38/00	3 0 3 D			
45/02	A			
H 0 1 F 41/02	G			

H 0 1 F 1/ 04 H
 審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-186316

(22) 出願日 平成7年(1995)6月29日

(31) 優先権主張番号 特願平6-266090

(32) 優先日 平6(1994)10月6日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 391008456

増本 健

宮城県仙台市青葉区上杉3丁目8番22号

(71) 出願人 591112625

井上 明久

宮城県仙台市青葉区川内元支倉35番地 川内住宅11-806

(72) 発明者 井上 明久

宮城県仙台市青葉区川内無番地 川内住宅11-806

(72) 発明者 竹内 章

宮城県仙台市青葉区北山3丁目1-18 シティライフ北山103号室

(74) 代理人 弁理士 村井 卓雄

(54) 【発明の名称】 永久磁石材料、永久磁石及び永久磁石の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 急冷R-Fe-B系永久磁石の残留非晶質相により磁石特性を向上させる。

【構成】 Feを主成分とし、1種または2種以上の希土類元素(R)とBを含有する急冷永久磁石材料において、10面積%以下の軟磁性残留非晶質相と、残部、熱処理により生成しかつR-Fe-B系硬質磁性化合物を含む結晶質相からなる永久磁石材料。この永久磁石材料粉末を塑性加工してバルク磁石とする。

表 1

組 成	押し温度	減面率	成形性	ビッカース硬度
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	300℃	30%	△	-
	350	30	○	-
	380	50	○	550
	380	90	×	-
	400	20	×	-
	400	25	△	-
	400	50	○	560
	423	50	○	540
	450	50	○	530
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	400	50	○	560
	400	90	×	-
	425	50	○	570
	430	50	○	-
	450	50	○	-
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	400	50	○	550
	425	50	○	-
	450	50	○	-
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	350	30	×	-
	360	50	×	-
	380	50	×	-
	425	50	△	-
	450	50	△	-

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Feを主成分（但し91at%未満である）とし、1種又は2種以上の希土類元素（略称を「R」とする）とホウ素を含有する急冷永久磁石材料において、10面積%以下の軟磁性残留非晶質相を含み、残部が実質的に、熱処理により生成しかつR-Fe-B系硬質磁性化合物を含む結晶質相からなることを特徴とする永久磁石材料。

【請求項2】 前記結晶質相がさらに磁壁の幅より小さい磁性物質相を含むことを特徴とする請求項1記載の永久磁石材料。

【請求項3】 前記非晶質相中に前記ホウ素、前記希土類元素ならびに酸素が前記結晶質相中よりも高濃度に濃縮して存在して成ることを特徴とする請求項1又は2記載の永久磁石材料。

【請求項4】 前記結晶質相中に含まれるホウ素と前記非晶質相中に含まれるホウ素の含有量の比率が1:1.5~1:7の範囲にあり、前記結晶質相中に含まれる酸素と前記非晶質相中に含まれる酸素の含有量の比率が1:1.5~1:7の範囲にあり、かつ結晶質相の平均粒径が5~100nmであることを特徴とする請求項3記載の永久磁石材料。

【請求項5】 前記永久磁石材料の結晶質相が α -Fe、Fe₃B及びNd₂Fe₁₄Bからなり、非晶質相が70~90at%のFe、5~20at%のR及び0~25at%のBよりなる請求項2から4までの何れか1項記載の永久磁石材料。

【請求項6】 永久磁石材料のat%により表される組成が、Fe_aR_bB_cX_d（ただし、Rは希土類元素のうちの1種又は2種以上の元素を示し、XはCo、Si、Cu、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Cd、Au、In、Mg、Ni、Pd、Pt、Ru、Sn及びZnから選択される1種又は2種以上の元素である）で表され、 $40 \leq a < 91$ 、 $4.5 \leq b \leq 35$ 、 $0.5 \leq c \leq 30$ 、 $0 \leq d \leq 5$ 、 $9.5 \leq b + c$ であることを特徴とする請求項1から5までの何れか1項記載の永久磁石材料。

【請求項7】 $65 \leq a \leq 90$ 、 $4.5 \leq b \leq 7$ 、 $9.2 \leq c \leq 10$ 、 $0 \leq d \leq 5$ 、 $10 \leq b + c$ である請求項6記載の永久磁石材料。

【請求項8】 希土類元素がNdである請求項1から7までの何れか1項記載の永久磁石材料。

【請求項9】 粉末形態を有する請求項1から8までの何れか1項記載の永久磁石材料を樹脂で結合したことを特徴とする永久磁石。

【請求項10】 粉末形態を有する請求項1から8までの何れか1項記載の永久磁石材料を塑性加工で圧着したことを特徴とする永久磁石。

【請求項11】 押出加工されており、かつ押出方向に磁気異方性を有することを特徴とする請求項10記載の

永久磁石。

【請求項12】 急冷凝固粉末を押出し加工する請求項10記載の永久磁石の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、永久磁石材料に関するものであり、さらに詳しく述べるならば、鉄-希土類元素-ホウ素系急冷永久磁石材料ならびに永久磁石及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】電気製品、自動車部品用などの小型・軽量化が求められる磁石に関しては磁気特性の優れたNd-Fe-B系ボンド磁石が期待されている。特公平4-47024号公報によると、Nd₁₅Fe₈₈B₇に代表されるNd-Fe-B系合金にCoとYを添加した五元系組成の液体を急冷薄帯とし、次にこれを粉砕した粉末をナイロン樹脂で固化した永久磁石が開示されている。又、その急冷薄帯の磁気エネルギーは最大エネルギー積(BH)_{max}で17MGOe(135kJ/m³)以上であると述べられている。

【0003】前掲特公平4-47024号公報により、非晶質合金薄帯を熱処理して微結晶を析出させることも公知であり、具体的にはNd₁₁Fe₇₂Co₈B_{7.5}V_{1.5}を650℃で10分間熱処理している。熱処理後の最大エネルギー積(BH)_{max}は18MGOe(143kJ/m³)である。

【0004】特公平3-52528号公報は、Nd_{0.1-0.5}(TM_{0.9-0.995}B_{0.005-0.1})_{0.9-0.5}（但しTMはFeなどの遷移金属である）で組成が表される液体急冷磁石合金、及び当該合金を液体急冷後20~400nmの硬質磁性微結晶質相が析出するように焼鈍を行う方法を開示する。この微結晶質相は単一磁区領域以下の径をもつと示唆されている。さらに、Nd_{0.15}(Fe_{0.95}B_{0.05})_{0.85}について示された(BH)_{max}は約14MGOe(111kJ/m³)に達している。

【0005】上記した技術より低いNd量のNd-Fe-B系組成で永久磁石を得る試みも為されており、例えば、Nd₄Fe₇₇B₁₉組成の非晶質リボンを熱処理することが提案されている(R. Coehoorn等、J. de Phys., C8, 1988, pp669~670)が、キュリー温度が充分高くない欠点を有している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】さらに、前掲特公平3-52528号及び特公平4-47024号公報では非晶質相をリボン中に残留させ、残留非晶質相を利用して磁気特性を向上させることは記載されていない。

【0008】従来のNd-Fe-B系急冷磁石は高性能であるが、最適Nd量が10at%以上であるためには価格が高くなり、フェライト磁石には価格の面では全く競争力がない。したがってフェライト磁石は、中型以上

の産業機器のモーター、アクチュエーターなどには依然として多用されている。ところで、フェライト磁石の一般的磁石特性は B_r が0.2~0.4 T, H_c は0.13~0.26 MA/m, $(BH)_{max}$ は7~36 kJ/m³のそれぞれの範囲内であり、性能的には希土類磁石より著しく劣る。このような現状の下では、性能の面ではNd-Fe-B系急冷磁石と同等以下であり、価格の面ではフェライト磁石より著しく高価にならない磁石を提供し、磁石の用途を拡大する意義は大きい。

【0009】さらに、従来のNd-Fe-B系急冷磁石粉末はボンド磁石として使用されており、加工性が優れないために粉末どうしを結合させることができなかった。それ故従来のボンド磁石では樹脂バインダーの割合だけ永久磁石の性能が低くなっていた。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係る永久磁石材料は、Feを主成分（但し91at%未満である）とし、1種または2種以上の希土類元素（略称を「R」とする）とBを含有する急冷永久磁石材料において、10面積%以下の軟磁性残留非晶質相と、残部が実質的に熱処理により生成しかつR-Fe-B系硬質磁性化合物を含む結晶質相から成ることを特徴とするものである。また、本発明に係る永久磁石は、粉末形態の上記永久磁石材料を樹脂で結合したボンド磁石、あるいは塑性加工で圧着したバルク磁石である。

【0011】本発明の永久磁石材料は、Fe、1種又は2種以上の希土類元素及びBを主成分として硬質磁性を示す液体急冷材料において、その組織を、熱処理により非晶質合金が結晶化して生成する結晶質相と結晶化しないで残留する非晶質相とから構成したものである。なお、好ましくは熱処理前の組織全体が非晶質相であれば良いが、磁気特性に影響を及ぼさない範囲で結晶質相が含まれていてもよい。結晶質相には硬質磁性をもつR-Fe-B系化合物が含まれている。一方非晶質相は、軟磁性を有しており、結晶質相よりは磁気特性向上に寄与するところは少ないが、結晶化熱処理の際結晶粒の成長を抑制し、微細な結晶質相の形成を可能にし、その硬質磁性体としての特性が向上するとともに、磁石材料の塑性加工性を高める。この結晶質相の好ましい粒径は5~100nmである。粒径が100nmより大きいと軟質磁性相に磁区が形成され、残留磁束密度 B_r の低下が引き起こされる。また粒径が5nmより小さいと結晶質相の磁気特性が劣化するので好ましくない。より好ましい粒径は20~50nmである。

【0012】一方、残留非晶質相が10面積%より多くなると結晶質相間の磁気的結合が切れてしまうため、磁気特性が劣化する。好ましい残留非晶質相の割合は2~10面積%である。また更に好ましい範囲は2~5面積%である。上記のような残留非晶質相の働きを発現するためには、熱処理温度を結晶化温度以上とし、熱処理時

間を短時間すなわち数分以下にすることが望ましい。

【0013】さらに、前記結晶質相が磁壁の幅より寸法が小さい軟磁性物質相を含むと、軟質磁性相による磁石特性の劣化を抑制することができる。すなわち、軟質磁性相が残留非晶質相の存在によって磁壁の幅よりも十分小さくなると、軟質磁性相の磁化が周囲の硬質磁性相の磁化との結合によって十分強く拘束されて複合相からなる系全体が1つの硬質磁性体として振舞い、その結果残留磁束密度(B_r)/保磁力(iH_c)が高くなる。

【0014】本発明においては、非晶質相中にB、希土類元素ならびに酸素(O)が結晶質相よりも高濃度に濃縮して存在することが好ましい。非晶質相の一部を結晶化する際の熱処理条件を適切にすることによって、結晶質相内のB、Ndなどの濃度を低くする一方、相対的に非晶質相中のB、Ndの濃度を高くすることができる。このような濃度調整を行うことによって、非晶質相のキュリー点 T_c が高くなり、室温における磁気特性が向上した磁気特性の温度特性も向上する。

【0015】また、上記において、結晶質相中に含まれる酸素(O_c)と非晶質相中に含まれる酸素(O_a)の含有量比率($O_c:O_a$)が1:1.5~1:7の範囲にあり、結晶質相中に含まれるホウ素(B_c)と非晶質相中に含まれるホウ素(B_a)の含有量比率($B_c:B_a$)が1:1.5~1:7の範囲にあり、かつ結晶質相の平均粒径が5~100nmであることが好ましい。ここで、 $O_a/O_c < 1.5$ であると非晶質相のキュリー点 T_c が低くなり、室温における磁気特性が劣化し、また磁気特性の温度特性も劣化し、 $O_a/O_c > 7$ であると、非晶質相が非磁性化してしまう。また、 $B_a/B_c < 1.5$ であると非晶質のキュリー点 T_c が低くなり、 $B_a/B_c > 7$ であると、やはり非晶質相が非磁性化してしまう。

【0016】本発明の一実施態様においては、永久磁石材料の結晶質相の構成物質が α -Fe、Fe₃B及びNd₂Fe₁₄Bからなり、これらの結晶は混晶を構成している。同様に、非晶質相は70~90at%のFe、5~20at%のR及び0~25at%のBよりなる。

【0017】永久磁石材料の組成は、Fe_aR_bB_cX_d（ただし、Rは希土類元素のうちの1種又は2種以上の元素を示し、XはCo、Si、Cu、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Cd、Au、In、Mg、Ni、Pd、Pt、Ru、Sn及びZnから選択される1種又は2種以上の元素であり、40at% ≤ a < 91at%、4.5at% ≤ b ≤ 35at%、0.5at% ≤ c ≤ 30at%、0 ≤ d ≤ 5at%、9.5at% ≤ b+cを満たすことにより優れた磁石特性と塑性加工性を達成することができる。これらの元素中Bは非晶質相を形成するために、0.5at%以上が必要であるが、30at%よりも多くなると、結晶粒径が100nmより大きくなりかつ塑性加工性が低下す

る。またRとBは合計量が9.5at%以上であることが非晶質相を形成するために必要である。なお、X成分の元素は結晶粒径をさらに微細化し、耐熱性を向上する役割をもち、また上記した α -Fe、Fe₃B及びNd₂Fe₁₄B中に一部固溶するかあるいは別個の相を形成する。

【0018】磁石特性の面からより好ましい組成は、6.5at% $\leq a \leq 9.0$ at%、4.5at% $\leq b \leq 7.9$ at%、2at% $\leq c \leq 1.0$ at%、0 $\leq d \leq 5$ at%、1.0at% $\leq b+c$ である。又、塑性加工性の面から好ましい組成は、7.8at% $\leq a \leq 9.1$ at%、6at% $\leq b \leq 1.2$ at%、3at% $\leq c \leq 1.0$ at%、d ≤ 3 at%である。

【0019】本発明の永久磁石材料粉末はナイロン樹脂などの樹脂により結合したボンド磁石とすることができる。ボンド磁石としては永久磁石粉末の割合は9.5~98重量%のものが一般的である。さらに、バルク磁石は、急冷凝固された永久磁石粉末を押出、ホットプレスなどの方法により塑性変形させることによって、粉末粒子の塑性変形面どうしを接合したものである。但し、塑性加工の温度は全面結晶化が起らないように選択する必要がある。このようにして得られたバルク磁石の密度は通常真密度に対して99.5%以下のものである。

【0020】接合法が押出による場合は押出温度350℃未満では押出ができず、700℃超では結晶粒の粗大化により、十分な磁石特性が得られない。さらに減面率が30%未満では粉末同士の結合が十分に成されず、80%を超える減面率の押出加工は本合金では困難である。上記の350~700℃温度かつ30~80%の減面率で押出を行った後は、必要により熱処理を行うことによって、急冷非晶質相の一部を結晶質相に分解する。但し、この方法でも460℃を超えると塑性変形中に急冷非晶質相が分解するから、熱処理を省略できることも

ある。

【0021】4種類の塑性のNd-Fe-B系永久磁石を押出温度及び減面率を変えて押出加工を行い、成形性及び押出材の硬度を調べた結果を図1(表1)に示す。

なお、成形性は以下の基準で評価した。

◎ 良好 気孔少い(密度99%以上)

○ 可 気孔が多少ある

△ 不可 気孔が多い

× 不可 成形できず

これら4種の磁石組成の中ではFe₇₇Nd_{4.5}B₁₅が成形性が最も不良であり、その他の磁石組成は成形性がほぼ同等で良好なレベルにある。又、加工温度は400~450℃が成形性の面で好ましい。

【0022】粉末のボンド磁石は等方性であるが、本発明においては最大エネルギー積が高い異方性バルク磁石が得られる。このためには、押出における減面率を非常に高く例えば70%以上とすることにより、結晶相の容易磁化方向が押出方向に配向する。異方性については、異方性エネルギーE_Aを測定し、E_A≠0であることが確認された。以下、実施例により本発明を詳しく説明する。

【0023】

【実施例】表2のNo. 1~15の組成(at%)となるように金属Fe、金属Nd及び元素Bを秤量し、単ロール液体急冷法により合金を作製した。すなわち、1つの回転している銅製ロール上方に配置されたノズルより上記組成の溶解金属をアルゴンガスの圧力により前記ロール上に噴出させ、急冷して薄帯を作製した。以上のように作製した薄帯の幅は約2mmであり、厚さは約30μmであった。

【0024】

【表2】

	Fe	Nd	B
No. 1	90	7	3
No. 2	88	7	5
No. 3	80	5	15
No. 4	85	5	10
No. 5	90	5	5
No. 6	88	5	7
No. 7	89	5	6
No. 8*	91	7	2
No. 9	90	8	2
No. 10	90	9	1
No. 11	89	9	2
No. 12	88	10	2
No. 13	89	10	1
No. 14	90	6	4
No. 15	89	6	5

備考：* - 比較例

【0025】得られた薄帯を700℃で3分間熱処理をした後、X線回折により構成を調べた結果を図2に示す。NdとBの組成の和が約10at%を境にして、これより大きいと非晶質となり、少ないと非晶質と微細な結晶との混相となった。したがって、Fe-Nd-B3元系における非晶質形成範囲はNdとBの量の和が少なくとも9.5at%以上である。

【0026】DSCとX線回折を用いて熱処理過程での構造を調べた結果を図3に示す。試料No. 1、No. 2では3段の発熱ピークが明瞭に観察され、それぞれのピークが α -Fe、Fe₃BとNd₂Fe₁₄Bの結晶化に対応していた。後述するように、Fe₃Bと発熱ピークが現れている試料No. 1、No. 2は磁気的特性が優れていることがわかる。

【0027】次に、No. 1の合金薄帯を700℃で3*

試料No. 1の構成相の化学分析値 (at%)

		Fe	Nd	B
分析(1)	結晶質相	95.3	1.8	2.9
	非晶質相	83.6	11.2	5.2
分析(2)	結晶質相	95.7	1.5	2.8
	非晶質相	83.8	9.2	7.0
分析(3)	結晶質相	96.9	0.6	2.5
	非晶質相	73.7	13.2	13.1

【0030】また、表4に本発明の試料No. 1およびNo. 9の熱処理後の結晶質相および非晶質相に含まれるOとBをそれぞれEDSとPEELSを用いて測定した結果を示す。非晶質相中のOの量は結晶質相中のOの※

*分間熱処理した。熱処理後の試料の組織は、 α -Fe相、Nd₂Fe₁₄B相とFe₃B相からなる微細な結晶と非晶質相からなる混相組織であった。図4は、本発明の試料No. 1を700℃で3分間熱処理したTEM写真である。この写真を見ると、約20~50nmの微細な結晶質相と非晶質相が混在していることがわかる。

【0028】同じく、本発明の試料No. 1の熱処理後における結晶質相と非晶質相の組成をEDSを用いて3箇所測定した結果を表3に示す。非晶質中のNdは、結晶質相中のNdに比べて多く存在しているのが分かる。なお、Bの組成はBの投入組成と表5に示す結晶質相と非晶質相の組成比から算出した。

【0029】

【表3】

※量の2.6~6.5倍であり、非晶質相中のBの量は結晶質相中のBの量の1.8~5.7倍であった。

【0031】

【表4】

結晶質相：非晶質相中のB、O元素の含有量比率

	試料No. 1		試料No. 9	
	B	O	B	O
(1)	1:1.8	1:2.6	1:2.3	1:4.5
(2)	1:2.5	1:2.9	1:4.2	1:5.3
(3)	1:5.3	1:3.1	1:5.7	1:6.5

【0032】表5に熱処理後の磁気特性をVSMを用いて測定した結果を示す。表5によると、本発明の組成範囲である試料No. 1、No. 2は、(BH)_{max}がすぐれている。それに対して、Fe含有量が本発明の組成★

★範囲外である試料No. 8は(BH)_{max}が劣っているのが分かる。

【0033】

【表5】

熱処理条件	Br (T)	Hc (MA/m)	(BH) _{max} (kJ/m ³)
1 700℃、3分間	0.97	0.21	72.0
2 700℃、3分間	0.96	0.19	61.4
8 700℃、3分間	0.62	0.10	19.7
9 700℃、3分間	0.86	0.16	35.7

【0034】図2に熱処理条件後の(BH)_{max}をNdとBの組成に対してプロットした結果を示す。Nd(希土類元素)とBの合計量は20kJ/m³以上の(BH)_{max}を得るためには9.5at%以上とすることが望ましく、さらに好ましくは、10at%以上とすることで60kJ/m³の(BH)_{max}をもつ薄帯が得られ

ることが分かる。したがって、熱処理後の組織が微細結晶と非晶質相から成り、この非晶質相にNd、O、Bが結晶質相に比べて高濃度に濃縮していれば良好な磁気特性が得られる。

【0035】実施例2

単ロール法によりFe₈₉Nd₇B₄(at%)からなる

組成の急冷薄帯を作製した。X線回折結果によりこの薄帯は非晶質単相であった。この薄帯をロータースピードミルで粉砕することにより $150\mu\text{m}$ 以下の粒径の非晶質粉末を得た。得られた粉末を鋼板(SS41)製の容器に充填し、真空中において 300°C で加熱脱気後、 450°C で減面率50%になるように押出加工をし、充填密度99%のバルク体を得た。バルク体の組織は非晶質単相であった。その後バルク体を $1\times 10^{-4}\text{torr}$ 以下雰囲気において 700°C で5分間の熱処理を行った。熱処理後のバルク体の組織は非晶質相、 bcc-Fe 、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ からなっていた。又、バルク体は $B_r=13.0\text{kG}$ (1.03MA/m)、 $iH_c=3.2\text{kOe}$ (0.25MA/m)、 $(BH)_{\text{max}}=14.2\text{MG}\cdot\text{Oe}$ (113kJ/m^3)の磁石特性を示した。

【0036】実施例3

単ロール法により $\text{Fe}_{90}\text{Nd}_7\text{B}_3$ (at%) からなる組成(表2のNo. 1)の急冷薄帯を作製した。X線回折結果によりこの薄帯は非晶質単相であった。この薄帯をロータースピードミルで粉砕することにより $150\mu\text{m}$ 以下の粒径の非晶質粉末を得た。得られた粉末をSS41製の容器に充填し、真空中において 300°C で加熱脱気後、 490°C で減面率50%になるように押出加工をし、充填密度99%のバルク体を得た。バルク体の組織は非晶質相と bcc-Fe との混相であった。その後バルク体を $1\times 10^{-4}\text{torr}$ 以下雰囲気において 750°C で3分間の熱処理を行った。熱処理後のバルク体の組織は非晶質相、 bcc-Fe 、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ からなっていた。 $B_r=10.8\text{kG}$ (0.86MA/m)、 $iH_c=2.3\text{kOe}$ (0.18MA/m)、 $(BH)_{\text{max}}=8.8\text{MG}\cdot\text{Oe}$ (70kJ/m^3)の磁石特性を示した。この磁石特性は表5の1と比較して若干の低下を示した。

【0037】実施例4

単ロール法により $\text{Fe}_{89}\text{Nd}_7\text{B}_4$ (at%) からなる組成の急冷薄帯を作製した。この薄帯をロータースピードミルで粉砕することにより $150\mu\text{m}$ 以下の粒径の非晶質粉末を得た。得られた粉末を鋼板(SS41製)の容器に充填し、真空中において 300°C で加熱脱気後、 680°C で減面率80%になるように押出加工をし、加工と同時に結晶を析出させ、充填密度99%のバルク体を得た。押出後のバルク体の組織は非晶質相、 bcc-Fe 、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ からなっていた。このバルク体の磁気特性を調べた結果、 $B_r=12.1\text{kG}$ (0.96MA/m)、 $iH_c=2.5\text{kOe}$ (0.19MA/m)、 $(BH)_{\text{max}}=13.0\text{MG}\cdot\text{Oe}$ (103kJ/m^3)の磁石特性を示し、 $\text{Nd}=15\text{at\%}$ の Nd-Fe-B 系急冷薄帯に相当する最大エネルギー積が得られた。

【0038】

【発明の作用及び効果】残留非晶質相は、非晶質相/結晶質相界面のエネルギーを高くするために、結晶粒の成長を抑制して磁石特性が向上する(請求項1)。残留非晶質相を利用して磁石特性を向上する方法は従来の R-Fe-B 系化合物の特性を向上する方法とは異なっているために、今後残留非晶質相の磁気特性向上の面で材料開発ができる。

【0039】又、結晶質相中の硬質磁性化合物である $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の他に存在する軟質磁性相である $\alpha\text{-Fe}$ 、 Fe_3B なども微細化することにより、これらの相を硬質磁性相として挙動させ、結果として磁石特性を向上させる(請求項2、5)。このために $\alpha\text{-Fe}$ が形成され易い Fe が多い組成の永久磁石を製造することができる。

【0040】非晶質相のキュリー点 T_c を高くする手段(請求項3、4)を採用すると、磁石の温度特性が改良される。

【0041】希土類元素の量を少なくすると(請求項7)、原料コストの面で非常に有利である。しかもこの組成の磁石材料はフェライトと比較すると $(BH)_{\text{max}}$ が同等以上であり、かつ B_r がフェライトを凌駕しかつ温度特性が良好であるので、この特性を活用した産業用モーター、アクチュエーター、特に高温で使用される機器等への応用が期待される。

【0042】本発明の材料粉末を樹脂で固化したボンド磁石(請求項9)は、性能及び価格の面で従来の希土類磁石とフェライト磁石の中間の位置付けの競争力のある磁石である。すなわち前者ほどの性能は必要ではないが、後者の性能が不満足な用途に本発明の磁石は好適である。

【0043】一方、粉末を直接結合したバルク磁石(請求項10)はボンド磁石(請求項9)よりも磁石性能がすぐれているために、競争力の面で一歩進んだ磁石である。焼結磁石では一般的な異方性磁石が、本発明によると焼結に依らずに得られる(請求項11)。又これにより Nd 含有量が10%弱も低減しても従来の急冷薄帯磁石と同等の磁石特性が得られるために、原料コスト低減は著しいものがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】4種の Nd-Fe-B 系磁石粉末の成形性を示す図表(図1)である。

【図2】 Nd 量と B 量に関連する Nd-Fe-B 系磁石の組織及び $(BH)_{\text{max}}$ を示すグラフである。

【図3】熱処理温度と生成結晶質相を示すグラフである。

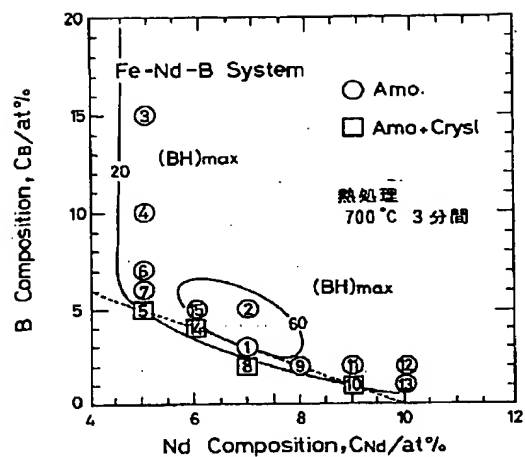
【図4】本発明の試料No. 1を 700°C で3分熱処理したTEM写真金属顕微鏡(倍率200万倍)である。

【図1】

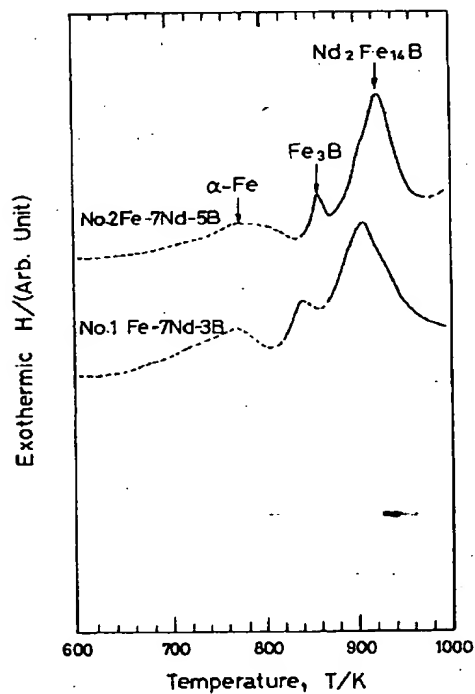
表 1

組 成	押出し温度	減面率	成形性	ビッカース硬度
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	300℃	30%	△	—
	350	30	○	—
	380	50	○	550
	380	90	×	—
	400	20	×	—
	400	25	△	—
	400	50	○	560
	423	50	○	540
	450	50	○	530
Fe ₈₀ Nd ₁₇ B ₃	400	50	○	560
	400	90	×	—
	425	50	○	570
	430	50	○	—
	450	50	○	—
Fe ₈₀ Nd ₁₀ B ₁₀	400	50	○	550
	425	50	○	—
	450	50	○	—
Fe ₇₇ Nd _{14.5} B _{8.5}	350	30	×	—
	350	50	×	—
	380	50	×	—
	425	50	△	—
	450	50	△	—

【図2】



【図3】



【図4】



図面代用写真